

04/10715

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

EP04/10715

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

REC'D 08 NOV 2004

WIPO PCT

Aktenzeichen:

103 45 080.7

Anmeldetag:

26. September 2003

Anmelder/Inhaber:

Peguform GmbH & Co KG i.Ins.,
79268 Bötzingen/DE

Bezeichnung:

Verfahren und Vorrichtung zur schichtabtragenden 3-
dimensionalen Materialbearbeitung

IPC:

B 23 K, B 44 C

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 22. Oktober 2004
Deutsches Patent- und Markenamt.
Der Präsident
Im Auftrag

Schäfer

Verfahren und Vorrichtung zur schichtabtragenden 3-dimensionalen Materialbearbeitung

Verfahren zur Herstellung einer Oberflächenstruktur auf einer beliebig geformten
5 dreidimensionalen Oberfläche erfordern bei Erreichung einer Präzision im Mikromillimeterbereich zeitintensive und aufwändige Arbeitsschritte.

Der schichtweise Abtrag einer Materialschicht von einer Oberfläche zur Herstellung einer beliebigen dreidimensionalen Oberfläche erfolgte bisher mittels Ätzverfahren oder galvanischen Verfahren, bei welchen eine Positivform mit der gewünschten
10 Oberflächenstruktur mit einem Metall überzogen worden ist, welches dann eine Negativform zur Herstellung des gewünschten Formteils oder der Folie ergibt. Diese Verfahrensvarianten erfordern immer eine große Anzahl von Verfahrensschritten, um eine Negativform für nur eine einzige Oberflächenstruktur zu erhalten. Dies hat auch zur Folge, dass bei jeder Änderung der Oberflächenstruktur dieselben
15 Verfahrensschritte erneut anfallen.

Bislang sind vor allem zwei Verfahren verbreitet, um Werkzeuge wirtschaftlich zu
20 narben, zum einen ist das die Ätznarbe, bei der die Oberfläche des Werkstücks unterschiedlich maskiert wird und dann durch eine Ätzflüssigkeit selektiv abgetragen wird. Dieses Verfahren kann mit Einschränkungen auch schichtweise angewendet werden und erzeugt dann allerdings einen abgestuften Übergang zwischen Narbgipfeln und Narbtälern. Außerdem gibt es Schwierigkeiten bei komplizierten Geometrien der zu narbenden Fläche.

25 Ein anderes Verfahren ist das sogenannte Galvano-Verfahren. Hierbei wird ein Positivmodell, das sogenannte Belederungsmodell, mit einer Folie (oder Leder) bezogen, welche die gewünschte Narbe aufweist. In einem Abformverfahren wird dann die (Leder)narbe in ein Negativwerkzeug übernommen, das wiederum zur Herstellung eines (Positiv-) Badmodells verwendet wird. Auf dieses wird dann in einem Bad
30 galvanisch eine Metallschicht aufgebracht. Das so erhaltene Galvanowerkzeug muss dann noch verstärkt werden, kann dann aber auch nur für bestimmte Verfahren zur Teileherstellung zur Anwendung kommen, die seine Oberfläche nicht zu stark beanspruchen. Verbreitet sind vor allem das Slush-Verfahren und das Sprühhaut-
35 Verfahren, wobei aber beide letztgenannten Verfahren sehr zeit- und kostenaufwendig sind. Als Alternative bietet sich eine Abtragung der Oberfläche mittels Laser an. Die Technologie der Abtragung von Material mittels Laser ist aus DE3939866 A1 aus dem

Bereich der Lasergravur bekannt. Von Bedeutung ist dabei meist die detailgetreue Abbildung eines Objekts, welches im wesentlichen zweidimensional ist. Eine Abbildung von dreidimensionalen Oberflächenstrukturen ist nicht Gegenstand eines derartigen Verfahrens, womit das Problem einer Abtragung von Material einer dreidimensionalen Struktur sich nicht stellt.

- Die Materialabtragung durch Verdampfen einer Oberflächenschicht mittels Laser ist aus DE4209933 C2 bekannt. Der Laserstrahl wird aufgeweitet und durch drehbare Ablenkspiegel über eine von einem Rechner vorgegebene Bezugslinie geführt. Die Bezugslinien bilden ein Rasterfeld. Das Rasterfeld wird mehrmals vom Laserstrahl entlang winkelfersetzter Bezugslinien abgefahren, wobei Material durch Verdampfung abgetragen wird. Durch die Variation der Richtung der Laserspuren durch Drehung in der Bearbeitungsebene um einen bestimmten Winkel werden systematische Überhöhungen in der Grenzschicht vermieden. Dadurch entsteht eine netzartige Struktur der Rasterlinien. Diese Technologie findet ebenfalls ausschließlich auf zweidimensionale Oberflächen Anwendung. Ziel der in der Patentschrift offenbarten Technologie ist ein gleichmäßiger Abtrag von Material im Rasterfeld.
- Eine zeilenweise Führung des Lasers in Bahnen (Rasterlinien), bzw. Spuren, im jeweiligen Bearbeitungsfeld des Lasers wird in DE10032981 A1 offenbart. Die Spuren werden bereichsweise auf ein sich bewegendes Werkstück aufgebracht. Um zu vermeiden, dass sich im Überlappungsbereich der Spuren an den Bereichsgrenzen eine scharfe Trennlinie ausbildet, die durch übermäßigen Materialabtrag im Überlappungsbereich entsteht, werden die Bereichsgrenzen bei jedem Abtrag versetzt. Mit anderen Worten, bei zeilenförmigem Abtrag eines Bereichs setzt der Laser am Rand nicht längs einer Linie ab, sondern fährt in die Nähe dieser Linie. Der Endpunkt der Abtragung liegt dann zwar in einem Abstandsbereich dieser Linie, dieser Abstandsbereich ist aber von Zeile zu Zeile verschieden. Da die Endpunkte sich somit statistisch um den Mittelwert der Linie verteilen, kann kein optischer Defekt wahrgenommen werden. Dieses Verfahren eignet sich zum Abtrag von Rasterfeldern, welche auf einer Ebene liegen. Sobald die Rasterfelder aber eine Neigung gegeneinander aufweisen, wird durch das Abtragmittel eine andere Materialmenge abgetragen, wenn sich das Abtragmittel aus dem Rasterfeld entfernt. Somit müsste jeder einzelne Endpunkt aufgezeichnet werden, der Materialabtrag bestimmt, und der für das benachbarte Rasterfeld vorgesehene Materialabtrag um den Fehlbetrag korrigiert werden. Aus diesem Grund ist das Verfahren für dreidimensionale Oberflächen nur unter hohem zusätzlichem Rechenaufwand anwendbar.

Die schichtweise Materialabtragung zur Erzeugung dreidimensionaler Strukturen wird in den beiden Patentschriften US6300595 B1 und US6407361 B1 offenbart. Dabei werden Linien auf einer mittels eines EDV-Programms generierten dreidimensionalen Grafik in Bahnen für die Abtragung mittels Laser umgerechnet. Diese Bahnen liegen auf ebenen Schichten. Die Materialabtragung erfolgt entlang dieser Bahnen auf jeder dieser ebenen Schichten. Die Länge der Bahnen wird aus der 3d Grafik rechnerisch abgeleitet. Vorteilhafterweise besteht die Grafik aus einfach zu modellierenden Objekten, wie Halbkreisen oder Pyramiden. Es wird zwar die Möglichkeit erörtert, mehrere derartige, geometrisch einfach beschreibbare Grafiken zu einem komplexen Kunstwerk zusammenzusetzen, allerdings muss jede dieser Grafiken sequentiell abgetragen werden. Im Übergangsbereich aller Bearbeitungsfelder wird bei jedem Bearbeitungsvorgang einer Schicht das Problem auftreten, dass entweder Grate oder Löcher in der Form entstehen. Bei Grafiken, welche eine rotationssymmetrische Ausnehmung in einer ebenen Oberfläche erzeugen, tritt dieses Problem nicht auf, welches die Verwendung des in den beiden Patentschriften offenbarten Verfahrens bei komplexen Oberflächenstrukturen nicht erlaubt.

Nach der Lehre der DE10116672 A1 werden Grob- und Feinstrukturen unterschiedlich bearbeitet, wobei Feinbereiche mittels Laser und Grobbereiche mittels einer Abtragsvorrichtung bearbeitet werden. Diese Technologie eignet sich insbesondere für Bearbeitung von Metalloberflächen, welche beispielsweise auf Druckzylindern angeordnet sind. Die Grobbearbeitung erfolgt mittels mechanischer Abtragsvorrichtungen.

Es ist eine Aufgabe der Erfindung, eine Oberflächenstruktur, wie beispielsweise eine Narbe, auf beliebige dreidimensionale Oberflächen aufzutragen. Diese Oberfläche wird durch eine mathematische Funktion beschrieben und kann mit einem Polygonnetz überzogen werden.

Die Aufgabe der Erfindung besteht somit darin, diesem Polygonnetz an jeder Stelle einen Wert für die Tiefenabmessung der Oberflächenstruktur zuzuordnen. Diese Zuordnung erfolgt über eine Anzahl von Graustufen, welche einem oder mehreren Bildpunkten zugeordnet sind. Jeder dieser Graustufen wird eine Schicht zugewiesen, welche eine Schnittfläche ausbildet, die im wesentlichen parallel zu dem Polygonnetz angeordnet ist. Als Schnittfläche wird dabei eine gekrümmte Fläche bezeichnet, welche parallel zu der mit einer Oberflächenstruktur zu versehenen Oberfläche verläuft. Da sie die Textur oder Oberflächenstruktur schneidet, wird eine derartige Oberfläche in der Folge als Schnittfläche bezeichnet. Im einfachsten Fall, nämlich einer ebenen

Oberfläche handelt es sich um eine Schnittebene. Jede Schnittfläche wird mit einem Polygonnetz überzogen. Auf der Schnittfläche ist die Graustufe definiert, weil die Schnittfläche als Parallelfäche zur Oberfläche durch eine analoge mathematische Funktion beschrieben werden kann. Damit eröffnet sich die Möglichkeit, beliebig geformte Oberflächen, die beispielsweise als Werkzeuge oder Modelle ausgebildet sind, mit einer dreidimensionalen Oberflächenstruktur zu versehen, die einer natürlichen Oberflächenstruktur möglichst nahe kommt. Eine derartige Oberflächenstruktur ist beispielsweise die Narbe des Leders, die dadurch gekennzeichnet ist, dass Narbengipfel unterschiedliche Höhen und Ausdehnungen aufweisen und der Übergang zwischen Narbengipfeln und Narbtälern gleichmäßig verläuft. Diese Oberflächenstruktur kann mit Hilfe der Schnittflächen und der darauf angeordneten Graustufen abgebildet werden, sodass sie in eine maschinenlesbare Form übergeführt wird. Diese Information kann dann von einem Datenverarbeitungsprogramm in Steueranweisungen für eine Abtragsvorrichtung umgewandelt werden. Als Abtragsvorrichtung kommt insbesondere ein Lasergerät in Betracht, weil mittels Laser, eine Genauigkeit erreicht werden kann, die im Mikrometerbereich liegt.

Es ist eine weitere Aufgabe der Erfindung, als Grate oder Nuten sichtbare Trenn- oder Grenzlinien beim Materialabtrag zu vermeiden.

Ziel ist also die Darstellung eines Verfahrens, das für verschiedene Arten von Materialien Verwendung finden kann, im Vergleich zu jedem der bekannten und sich im Einsatz befindenden Verfahren schnell durchführbar ist, und keine oder wenig Einschränkungen in Bezug auf die Geometrien verursacht. Zudem soll das erfindungsgemäße Verfahren Anwendung auf beliebige Materialkombinationen finden.

Eine weitere Aufgabe ist die Möglichkeit Varianten in der Oberflächenstruktur allein durch Programmierung des Abtragsmittels zu realisieren. Die gewünschte Oberfläche, die Ergebnis einer Simulation, einer Bearbeitung mittels eines Graphikprogramms oder eines 3d Scans sein kann, wird direkt in eine Ansteuerung des Abtragsmittels zum zeilenweisen Abtrag der Oberfläche übersetzt.

Diese Aufgaben werden durch folgendes Verfahren zur ein- oder mehrschichtigen Materialabtragung einer beliebig geformten dreidimensionalen Oberfläche mittels eines punktförmig auf eine Oberfläche wirkenden Abtragsmittels, wie eines Lasers, verwirklicht, bei welchem eine Oberflächenstruktur auf der dreidimensionalen Oberfläche erzeugt wird, wobei die Oberfläche durch eine mathematische Funktion beschrieben wird und sodann durch ein Polygonnetz angenähert wird. Die Oberflächenstruktur soll in der Folge als Textur bezeichnet werden.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung einer Textur auf einer gekrümmten Oberfläche, wobei die Oberfläche als mathematische Funktion darstellbar ist und in eine Vielzahl von Teilflächen zerlegbar ist, wobei die Teilflächen einen Ausschnitt der Textur durch eine Anzahl von Bildpunkten, denen eine Graustufe zugeordnet ist, beschreiben und jede Teilfläche somit eine Verteilung von Graustufen aufweist, sodass jeder Graustufe ein Abstandswert zugeordnet wird, der dem kürzesten Abstand der Tangentialebene in diesem Bildpunkt zu dem Punkt auf der Texturoberfläche entspricht. Die Materialabtragung kann in mehreren Schichten erfolgen, wobei jeder Schicht ein eigenes Polygonnetz zugeordnet ist. Durch den Abstandswert wird die Anzahl der Schichten festgelegt, in welchen ein Materialabtrag erfolgen soll. Dieser Abstandswert kann ein Vielfaches der Schichtdicke betragen. Die Schichten werden mit derselben mathematischen Funktion beschrieben, wie die gekrümmte Oberfläche. Jede Schicht ist aus Teilflächen aufgebaut, wobei es sich bei den Teilflächen um Polygone handelt auf welchen ein Bildpunkt angegeben ist, wenn der Abstandswert größer als die Summe der Schichtdicken der Schichten ist, welche zwischen der gekrümmten Oberfläche und der jeweiligen Schicht liegen. Die jeweils zu bearbeitende Teilfläche jeder Schicht hat in einer vorteilhaften Ausgestaltung keinen Randabschnitt mit einem der vorher bearbeiteten Teilflächen gemeinsam. Die Teilflächen benachbarter Schichten weisen somit keine gemeinsame Kante auf. Kanten der Teilflächen benachbarter Schichten sollen nicht übereinander zu liegen kommen, da es am Rand der Schicht zu einem Fehler in der Abtragung kommt. Dieser Fehler kann in der Ausbildung eines Grates oder eines Lochs bestehen.

Die Teilflächen benachbarter Schichten sind zueinander versetzt angeordnet oder gegeneinander gedreht oder auch zufällig angeordnet und alternativ dazu oder zusätzlich können auch die Teilflächen benachbarter Schichten unterschiedliche Größe aufweisen. Jeder Schicht ist ein eigenes Polygonnetz zugeordnet. Das jeweils zu bearbeitende Teilstück jeder Schicht hat keinen Randabschnitt mit einem der vorher bearbeiteten Teilstücke gemeinsam.

Das Polygonnetz wird in ein Steuerungsprogramm eines Abtragsmittels eingelesen, wobei das Steuerungsprogramm Bearbeitungsabschnitte festlegt. Ein derartiger Bearbeitungsabschnitt umfasst mindestens eine Teilfläche. Der Bearbeitungsabschnitt liegt im Inneren eines Fokusquaders einer Abtragsvorrichtung, wobei der Bearbeitungsabschnitt zeilenweise von einer Abtragsvorrichtung angefahren wird. Die Abtragsvorrichtung wird eingeschaltet, wenn ein Bildpunkt in der im Bearbeitungsabschnitt liegenden Schicht zu liegen kommt. Die Abtragsvorrichtung wird nicht eingeschaltet, wenn kein Bildpunkt der Schicht erkannt wird.

Die Erkennung erfolgt durch die dem Bildpunkt zugeordnete Graustufe.

Für jedes Polygon wird eine unterschiedliche Winkelrichtung der Laserspuren vorgegeben, wobei die Laserspuren schräg auf die Teilfläche auftreffen.

Die Oberflächenstruktur jeder Teilfläche wird somit durch ein Rasterbild, welches aus Bildpunkten besteht, beschrieben, wobei die jeweils zu bearbeitende Teilfläche der Oberfläche vollkommen in den Fokusbereich des Lasers zu liegen kommt. Die Punktlage der Bildpunkte auf den Polygonen im dreidimensionalen Raum entspricht einer zweidimensionalen Koordinatenlage auf der Fläche der Rasterbilder.

- 10 Fig. 1 ist eine Darstellung einer gekrümmten Oberfläche
 Fig. 2a ist eine Darstellung einer Textur als Schichtbild
 Fig. 2b ist die Darstellung der Umwandlung der Textur in ein Rasterbild
 Fig. 2c ist ein Schnitt durch eine Textur
 Fig. 2d ist die Darstellung der Teilflächen mit den Rasterbildern
- 15 Fig. 3 ist eine Darstellung der Schichten mit den Teilflächen und ihren Rasterbildern
 Fig. 4 ist eine Darstellung des Effekts der Zuordnung von Graustufen
 Fig. 5 ist eine Darstellung des Abtrags einer Oberfläche in mehreren Schichten
 Fig. 6 ist die Darstellung des Abtrags gekrümmter Oberflächen
 Fig. 7 ist ein Detail aus Fig. 6 in dreidimensionaler Darstellung
- 20 Fig. 8 zeigt eine erste Anordnung von zwei benachbarten Schichten
 Fig. 9 zeigt eine zweite Anordnung von zwei benachbarten Schichten
 Fig. 10 zeigt eine dritte Anordnung von zwei benachbarten Schichten
 Fig. 11 zeigt eine vierte Anordnung von zwei benachbarten Schichten
- 25 Fig. 1 ist die Darstellung einer gekrümmten Oberfläche 1, die durch eine mathematische Funktion beschrieben werden kann. Diese gekrümmte Oberfläche 1 soll mit einer Textur 2, also einer Oberflächenstruktur, versehen werden. Mit dieser Erfindung wird ein Verfahren für den schichtweise selektiven Formabtrag an einem Werkstück, das heißt also der obengenannten Oberfläche, realisiert. Dabei soll eine
- 30 Oberflächenstruktur beispielsweise in der Form einer Narbe in das Werkstück eingebracht werden, die dadurch gekennzeichnet ist, dass die Übergänge zwischen Narbengipfeln und Narbtälern möglichst gleichmäßig verlaufen. Des weiteren sollen bezüglich der Topologie des Werkstückes möglichst wenig Einschränkungen notwendig sein, d.h. es erfolgt hier keine Beschränkung auf z.B. Zylinderflächen wie
- 35 beispielsweise in der DE 101 16 672 A1) oder gar nur auf ebene Oberflächen.

Beliebige Oberflächen und Narben müssen derart dargestellt werden, dass sie mit einem bekannten Verfahren zur Abtragung von Material, insbesondere einem Laserverfahren, hergestellt werden können.

In Fig. 2a ist eine derartige Oberflächenstruktur 2 als zweidimensionale Abbildung dargestellt. Die Tiefe der Textur wird durch die dargestellten Linien versinnbildlicht, die den Höhenlinien einer Landkarte entsprechen. Die Kontur der Oberflächenstruktur ist beliebig gewählt, ebenso wie der Verlauf der Höhenlinien. Diese Kontur soll mittels eines Abtragsmittels 12 erzeugt werden. Als Abtragsmittel soll beispielsweise ein Laserstrahl eingesetzt werden. Gemäss DE 4209933 C2 erfolgt der Materialabtrag beispielsweise durch das Verdampfen des Materials mittels eines Laserstrahles. Dieser wird rechnergesteuert entlang vorgegebener Rasterlinien über das Werkstück geführt. Bei großen Flächen geschieht die Bearbeitung im allgemeinen abschnittsweise (vgl. auch DE10032981 A1). Bekanntermaßen lassen sich beispielsweise durch die Materialabtragung mittels Laser auch komplizierte Strukturen herstellen, dies wird beispielsweise bei der Mikrobearbeitung von Materialien ausgenutzt. Es gibt auch bereits Verfahren, um großflächig Material mit dem Laser abzutragen. Allerdings ist es bisher nicht gelungen, mit diesen vorbekannten Laserverfahren beliebige gekrümmte Oberflächen mit einer beliebigen Textur zu versehen, wobei die Genauigkeit des Abtrags im Bereich von 5 µm liegen soll. Der Grund liegt darin, wie unter der

Bewertung des Standes der Technik früher erwähnt wurde, dass die Polygone des Polygonnetzes nicht in einer Ebene liegen. Der Bearbeitungsbereich des Abtragsmittels liegt allerdings in einer Ebene, was bedeutet, dass sich die Tiefe des Abtrags verändert, sobald das Abtragsmittel die Ebene verlässt.

In Fig. 2b ist dargestellt, wie die Textur 2 in ein Rasterbild umgewandelt wird. Hierbei muss man zwischen der Beschreibung der Topologie, d.h. der Geometrie des Werkstücks und der Narbe unterscheiden, das heißt, der gewünschten Feinstrukturierung der Oberfläche, welche auf dem Werkstück – oder allgemeiner der gekrümmten Oberfläche - durch ein formgebendes Verfahren erzeugt wird. Dieses Rasterbild ist aus Bildpunkten 4 aufgebaut, wobei die Graustufe 5 ein Maß für den Abstandswert 6 der unbearbeiteten gekrümmten Oberfläche zu dem Grundbereich der Oberflächenstruktur darstellt. Anders ausgedrückt, umfasst das Verfahren zur Erzeugung einer Textur 2 auf einer beliebig gekrümmten Oberfläche 1 die Abtragung von Material in Schichten 7, wobei die Oberfläche 1 als mathematische Funktion darstellbar ist. Diese Oberfläche wird in eine Vielzahl von Teilflächen 3 zerlegt, wie sie in Fig. 2d beispielhaft dargestellt sind, wobei die Teilflächen 3 einen Ausschnitt der Textur 2 durch eine Anzahl von Bildpunkten 4, denen eine Graustufe 5 zugeordnet

wird, beschreiben. Jede Teilfläche 3 weist somit über eine Anzahl an Bildpunkten 4 eine Verteilung von Graustufen 5 auf, wobei jeder Graustufe 5 ein Abstandswert 6 zuordnet wird, der dem Normalabstand der Tangentialebene an die gekrümmte Oberfläche 1 in diesem Bildpunkt zu der Texturoberfläche entspricht. Dieser

5 Abstandswert 6 ist für den Abstand von der gekrümmten Oberfläche 1 bis zum tiefsten Punkt der Textur 2 schematisch dargestellt.

In der Automobilindustrie werden zur Topologie-Beschreibung von sogenannten Freiformflächen, also gekrümmten Oberflächen, die durch eine mathematische Funktion beschrieben werden, im allgemeinen NURBS (non-uniform rational B-Splines)

10 eingesetzt. Wenn man mit einer einzigen NURBS-Fläche eine komplexe Geometrie nicht zufriedenstellend beschreiben kann, werden mehrere sogenannte NURBS-Patches aneinandergesetzt. Oftmals werden diese vor dem Zusammensetzen auch noch beschnitten oder getrimmt, wozu auf den NURBS-Flächen liegende NURBS-Kurven eingesetzt werden.

15 Um diese Topologie mit einem Abtragsmittel 9, wie beispielsweise einem Laser bearbeiten zu können, muss sie in Bearbeitungsabschnitte 10 aufgeteilt werden. Diese Bearbeitungsabschnitte 10 sind in Fig. 3 näher dargestellt. Die Größe des Bearbeitungsabschnittes 10 wird Idealerweise so gewählt, dass er von dem Abtragsmittel zeilenweise abgefahren werden kann. Ist das Abtragsmittel ein Laser, wird

20 bei entsprechender Stellung des Scanners (möglichst näherungsweise senkrecht auf dem Bearbeitungsabschnitt 10) lediglich durch Einflussnahme auf die Galvanospiegel abgescannert. Des weiteren sollte die Entfernungsänderung zwischen Scanner und Teilfläche 3 gering gehalten werden. Ziel muss bei der Wahl der Größe des

25 Bearbeitungsabschnittes 10 in jedem Fall sein, dass weder durch die Winkelstellung des Abtragsmittels, also beispielsweise des Lasers, noch durch die Veränderung des Abstandes zwischen der Teilfläche 3 und dem Scanner eine unerwünschte Änderung der Stärke des Materialabtrages erfolgt.

Bei jedem Bearbeitungsabschnitt 10 ist zu beachten, dass er als ganzes im Fokusbereich 11 des Abtragsmittels 9 zu liegen kommt.

30 Den möglichen Bearbeitungsbereich bei einer bestimmten Position des Scanners kann man bei Einsatz einer Planfeldlinse durch den Fokus-Quader 11 beschreiben. Seine Höhe, bei vorgegebenem maximalen Fehler der abgetragenen Schichtdicke, ist gegeben durch die maximale Fokustiefe (= Variation der Brennweite) und seine Seitenlänge durch die entsprechende maximale Auslenkung der Galvanospiegel im

35 Scanner.

Der Abstand zwischen Scanner und der Mittelebene des Quaders ist durch die Brennweite der Laseroptik gegeben. Innerhalb des Fokus-Quaders 11 kann der Bearbeitungsabschnitt 10 durch ein Polygon angenähert werden, dessen Ecken alle auf einer Fläche liegen, die exakt den Abstand der Brennweite zu der Laseroptik hat und senkrecht zur Richtung des Laserstrahles in der Mittelstellung der Ablenkspiegel steht. Diesem Polygon entspricht nun eine Teilfläche 3 der zu bearbeitenden Schicht 7, wobei der Bearbeitungsabschnitt 10 durch Projektion des Polygons auf die NURBS-Fläche entsteht und vollkommen im Fokus-Quader 11 liegen muss.

Die gesamte Topologie der zu bearbeitenden Oberfläche 1 wird somit durch ein Gitternetz von zusammenhängenden Teilflächen 3 oder Polygonen verschiedener Größe und Form beschrieben. Dabei sind die Randabschnitte 8, also die Polygonkanten unabhängig von den Rändern der die zu bearbeitende Teilfläche 3 beschreibenden NURBS-Patches zu wählen, d.h. es kann und wird vorkommen, dass ein oder mehrere Punkte des Polygons auf einem Patch liegen und ein oder mehrere Punkte des Polygons auf dem angrenzenden NURBS-Patch.

Für die Beschreibung der Feinstruktur der Oberfläche wird jedem Polygon zwecks der besseren Verarbeitbarkeit durch das Steuerprogramm des Lasers ein Rasterbild (Bitmap) zugeordnet. Dieses Rasterbild entspricht im wesentlichen der Teilfläche 3 und ist aus Bildpunkten 4 aufgebaut. In Fig. 7 wird dargestellt, dass das Rasterbild nicht genau der Teilfläche 3 entspricht. Hierbei entspricht die Größe des Bildpunktes 4 näherungsweise der Größe des Durchmessers des Laser-Lichtkegels und die Graustufe 5 (Helligkeit) des Bildpunktes der Tiefe der Oberflächenstruktur 2 an diesem Punkt. Ein weißer Punkt bedeutet in diesem Beispiel, dass überhaupt kein Material abgetragen wird, während ein schwarzer Punkt maximalen Materialabtrag bedeutet (oder umgekehrt).

Eine noch höhere Genauigkeit kann durch eine Beschreibung des Laserpunktes durch mehrere Bildpunkte in der Bitmap erreicht werden, wobei auf den unterschiedlichen Materialabtrag quer über den Durchmesser des Laserpunktes zurückgerechnet werden kann. Der Nachteil besteht in der Vergrößerung der Bitmap und der entsprechend höhere Speicherbedarf und der sich daraus ergebende Rechenaufwand in der Steuerelektronik.

Die Codierung der Bitmap entspricht hierbei der maximalen Zahl der Schichten 7, das heißt bei 256 Graustufen (= 8 bit) je Bildpunkt können maximal 256 Schichten dargestellt werden. Zur Abspeicherung dieses Rasterbildes sind verschiedene Computerformate mit entsprechenden Komprimierungsalgorithmen bekannt, die eine sehr starke Verringerung des Speicherbedarfes zur Folge haben.

Im allgemeinen Fall wird die Teilfläche 3, also das Polygon selten eine quadratische Form haben. Daher erfolgt eine Zuordnung der Eckpunkte des Polygons im dreidimensionalen Raum zu jeweils einem entsprechenden Punkt auf der Bitmap in 2D-Koordinaten (Texturkoordinaten).

- 5 In Fig. 4 ist dargestellt, wie der Zusammenhang zwischen dem Rasterbild, welches die Bildpunkte 4 mit ihren Graustufen 5 enthält und den Schichten 7 ist, welche im wesentlichen der Kontur der gekrümmten Oberfläche folgen. Somit können die Schichten 7 mit im wesentlichen identischen mathematischen Funktionen beschrieben werden, wie die Oberfläche, oder mit einer Serie von mathematischen Funktionen, die sich als NURBS-Patches darstellen. Die unterschiedlichen Graustufen 5 werden als
- 10 Vorschrift zum Abtragen von Material auf die einzelnen Schichten projiziert. Die Schicht selbst kann wiederum in Teilflächen eingeteilt werden, wobei die Teilflächen so beschaffen sein sollten, dass die Genauigkeit der Abtragung durch das Abtragmittel 9 gewährleistet ist. Die Graustufe 12 entspricht der maximalen Tiefe des Abtrags.
- 15 Dementsprechend wird beim Durchfahren jeder Schicht an der Stelle, welche der Graustufe 12 entspricht ein Abtrag vorgenommen. Die Summe der Abträge je Schicht ergibt somit den gesamten Materialabtrag.

- In Fig. 5 ist dargestellt, wie der Vorgang der Abtragung erfolgt, wenn ein im wesentlichen ebener Ausschnitt der Textur 2 vorliegt. Der Abtrag erfolgt von der
- 20 Oberfläche 1 her in Schichten von einer im wesentlichen gleichbleibenden Schichtdicke. Zufriedenstellende Ergebnisse für die Abbildungstreue der Textur wurden bei Schichtdicken von 5 μm erreicht. Der für die Abtragung verwendete Nd:YAG Laser kann eine Schicht von 5 μm abtragen. Die Rasterbilder haben dabei Vorteilhafterweise eine Größe von mindestens 4 mal der Schichtdicke, da durch die Randabschnitte
- 25 immer Unschärfbereiche vorliegen. Randabschnitte beinhalten dabei nicht nur die Kanten der Polygone 8, sondern auch die Randbereiche 13 der Graustufe 5, bis zu welcher in der betreffenden Schicht maximal abgetragen wird. Deutlich wird in Fig. 5 ebenfalls, dass der Abtrag schichtweise erfolgt und dass der Abtrag so lange erfolgt, so lange die Kontur der Oberflächenstruktur 2 nicht erreicht ist. Der eingezeichnete
- 30 Abstandswert 6 von der Oberfläche 1 bis zur Kontur ist genau die Graustufe 5, bis zu welcher abgetragen werden soll. Zudem ist gezeigt, dass jede Schicht 7 bezüglich der benachbarten Schichten mit Bearbeitungsabschnitten überzogen ist, die zueinander versetzt angeordnet sind. Die Bearbeitungsabschnitte enthalten die Teilflächen 3. Auf die versetzte Anordnung soll später noch genauer eingegangen werden.

- 35 Es ist bei entsprechender Anordnung der Polygone auch möglich, die Texturkoordinaten mehrerer Polygone auf einer Bitmap zusammenzufassen.

Außerdem kann beim Errechnen und Abspeichern der Polygone und zugehörigen Bitmaps auch schon eine Winkelrichtung für die Laserspuren (vgl. DE 42 09 933 C2) vorgegeben werden. Die Laserspuren brauchen den Rasterlinien der Bitmap nicht unbedingt zu folgen, sondern es können Verfahren der Computergrafik zum Einsatz

5 kommen, die für eine schräg zu den Rasterlinien verlaufende Laserspur die Helligkeitswerte errechnen, unter Verwendung von Antialiasing-Algorithmen. (vgl. eine diagonal auf einem Computerbildschirm verlaufende Linie).

Bei der Bearbeitung des Werkstückes muss ein Abtragsmittel, also in diesem Beispiel ein Lasergerät zum Einsatz kommen, bei dem der Scanner, in dem sich die

10 Galvanospiegel befinden, in Bezug auf das Werkstück eine ausreichende Beweglichkeit aufweist, um eine Position anfahren zu können, die sich möglichst senkrecht relativ zu jedem Polygon im Abstand der Brennweite der Laseroptik befindet, d.h. die derjenigen Position entspricht, die bei der Berechnung der Polygone zugrunde gelegt wurde.

15 Für die Steuerung des Lasergerätes im Sinne einer wirtschaftlichen Bearbeitung ist es vonnöten, die Polygone im Datensatz so zu ordnen, dass sie von der Steuerelektronik in einer Reihenfolge eingelesen werden, die möglichst geringe Verfahrswege des Scanners zur Folge hat. In Fig. 6 ist ein Schnitt durch eine gekrümmte Oberfläche 1

20 Oberfläche angeordnet sind. Es ist der Übersichtlichkeit wegen nur eine einzige Schicht 7 mit ihren Teilflächen 3 dargestellt. Das Abtragsmittel 9 nimmt einen Abtrag entlang einer Teilfläche 3 vor, wobei der Abtrag nur in dem von der Kontur der Oberflächenstruktur 2 nicht erfassten Bereich erfolgt. Der Bearbeitungsabschnitt 11 kann dabei mit den Randabschnitten 8 der Teilfläche 3 übereinstimmen. Ein

25 Bearbeitungsabschnitt kann aber auch aus mehreren Teilflächen oder Polygonen zusammengesetzt sein.

Fig. 7 zeigt noch einmal im Detail, wie Abtrag auf der Teilfläche 3 erfolgt. Das

Abtragsmittel 9 fährt das Rasterbild, welches der Teilfläche 3 zugeordnet ist, ab, und nimmt an allen Orten, an welchen die Graustufe 5 größer oder gleich (kleiner oder

30 gleich) dem Wert für die Graustufe der Schicht 7 ist, zu welcher die Teilfläche 3 gehört, einen Materialabtrag vor. Das Rasterbild 14 ist in diesem Fall kleiner als die Teilfläche

3, was zur Folge hat, dass sich angrenzende Bearbeitungsabschnitte 10 mit dem Fokusquader überlappen. Diese Anordnung kann vorteilhaft sein, wenn die Krümmung der Oberfläche, welche durch die Teilfläche 3 gebildet wird, so groß ist, dass eine

35 Veränderung des Schichtabtrags bedingt durch die Eigenschaften des Abtragsmittels 9

erfolgt, was zu einem ungleichmäßigen Materialabtrag führen würde und als Fehler in der zu erzeugenden Oberflächenstruktur erkennbar wäre.

Eine weitere Aufgabe besteht in der Vermeidung von Trennlinien, die in dem Bereich entstehen, in dem eine Laserspür endet und die nächste beginnt (vgl. DE10032981

5 A1). Die Gefahr besteht insbesondere an den Kanten, an denen zwei Polygone aneinander stoßen.

Dieses Problem wird dadurch gelöst, dass die Schichtdicke so stark herabgesetzt wird, dass die entstehende Grenzlinie in der Höhe vernachlässigbar klein im Vergleich zu der Gesamthöhe der Narbe und somit nicht mehr sichtbar ist. Die Addition des

10 Trennlinien-Fehlers an den Polygonkanten wird dadurch vermieden, dass jeder abzutragenden Schicht ein eigenes unabhängiges 3-dimensionales Polygonnetz zugeordnet wird. Dieses kann völlig frei gewählt werden, unter Beachtung der obengenannten Vorgaben. Außerdem muss beachtet werden, dass sich Polygonränder zwar überschneiden (das ist unvermeidlich), aber keinesfalls übereinander liegen

15 dürfen. Ansonsten addiert sich der Trennlinien-Fehler. Das bedeutet, bei Betrachtung eines beliebigen Punktes auf der zu bearbeitenden Fläche des Werkstückes und einem Materialabtrag in n Schichten, dass dieser Punkt zu n verschiedenen Polygonen „gehört“.

Verschiedene Möglichkeiten der Anordnung benachbarter Schichten werden in den

20 Fig. 8-11 dargestellt, wobei die Teilflächen 3 Polygone sind. Die Teilflächen 3 einer Schicht 7 grenzen mittels gemeinsamer Randabschnitte 8 aneinander. Die Randabschnitte 8 der Teilflächen 3 benachbarter Schichten 7 kommen aber nicht übereinander zu liegen. Nach Fig. 8 weisen die Teilflächen 3 benachbarter Schichten 7 unterschiedliche Größe auf.

25 Nach Fig. 9 sind die Teilflächen 3 benachbarter Schichten 7, zueinander versetzt angeordnet.

Nach Fig. 10 sind die Teilflächen 3 benachbarter Schichten 7 gegeneinander gedreht.

Nach Fig. 11 sind die Teilflächen 3 benachbarter Schichten 7 zufällig angeordnet.

30 Diese Polygone können sich entweder eine Textur-Bitmap teilen, oder aber sie verteilen sich auf mehr als eine bis maximal n Bitmaps.

Bezüglich der zugehörigen Textur-Bitmaps muss beachtet werden, dass beim Vorhandensein von mehreren Bitmaps sich der entsprechende Schichtabtrag auf die einzelnen Bitmaps verteilt. Das heißt, der endgültige Materialabtrag an einem bestimmten Punkt ergibt sich aus einer Addition der einzelnen Grauwerte der

35 Texturbitmaps an diesem Punkt. Die oben erwähnte Fig. 4 zeigt diese Möglichkeit im Detail.

Ist der Trennlinienfehler noch stärker zu reduzieren, kann ein Verfahren nach DE10032981 A1 zur Anwendung kommen, bei dem ein Überlappungsbereich zwischen den Bearbeitungsabschnitten gebildet wird, in dem die Bearbeitungsspuren des Lasers in den Anschnitten ineinander greifen, und die Übergangspunkte statistisch verteilt sind.

5

Bezugszeichenliste

- 1. Oberfläche
- 2. Textur
- 10 3. Teilfläche
- 4. Bildpunkt
- 5. Graustufe
- 6. Abstandswert
- 7. Schicht
- 15 8. Randabschnitt
- 9. Abtragmittel
- 10. Bearbeitungsabschnitt
- 11. Fokusquader
- 12. Graustufe
- 20 13. Randbereich
- 14. Rasterbild

ANSPRÜCHE

- 5 1. Verfahren zur Erzeugung einer Textur (2) auf einer beliebig gekrümmten Oberfläche (1) durch Abtragung von Material in Schichten (7), wobei die Oberfläche (1) in eine Vielzahl von Teilflächen (3) zerlegbar ist, wobei die Teilflächen (3) einen Ausschnitt der Textur (2) durch eine Anzahl von Bildpunkten (4), denen eine Graustufe (5) zugeordnet wird, beschreiben und jede Teilfläche (3) somit über eine Anzahl an Bildpunkten (4) eine Verteilung von Graustufen (5) aufweist, gekennzeichnet dadurch, dass jeder Graustufe (5) ein Abstandswert (6) zugeordnet wird, der dem Normalabstand der Tangentialebene an die gekrümmte Oberfläche (1) in diesem Bildpunkt zu der Texturoberfläche entspricht.
- 10 2. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass durch den Abstandswert (6) die Anzahl der Schichten (7) festgelegt wird, in welchen Material abgetragen wird.
- 15 3. Verfahren nach Ansprüchen 1 oder 2, gekennzeichnet dadurch, dass der Abstandswert (6) ein Vielfaches einer Schichtdicke (8) beträgt.
- 20 4. Verfahren nach Anspruch 2, gekennzeichnet dadurch, dass die Schichten (7) mit derselben mathematischen Funktion beschrieben werden, wie die gekrümmte Oberfläche (1).
- 25 5. Verfahren nach Anspruch 2, gekennzeichnet dadurch, dass jede Schicht (7) aus Teilflächen (3) aufgebaut ist.
6. Verfahren nach Anspruch 5, gekennzeichnet dadurch, dass die Teilflächen (3) Polygone sind.
- 30 7. Verfahren nach Anspruch 5, gekennzeichnet dadurch, dass die Teilflächen (3) einer Schicht (7) mittels gemeinsamer Randabschnitte (8) aneinander grenzen.
8. Verfahren nach Anspruch 7, gekennzeichnet dadurch, dass Randabschnitte (8) der Teilflächen (3) benachbarter Schichten (7) nicht übereinander zu liegen kommen.

9. Verfahren nach Anspruch 8 gekennzeichnet dadurch, dass die Teilflächen (3) benachbarter Schichten (7) zueinander versetzt angeordnet sind.
- 5 10. Verfahren nach Anspruch 8 gekennzeichnet dadurch, dass die Teilflächen (3) benachbarter Schichten (7) gegeneinander gedreht sind.
11. Verfahren nach Anspruch 8 gekennzeichnet dadurch, dass die Teilflächen (3) benachbarter Schichten (7) zufällig angeordnet sind.
- 10 12. Verfahren nach Anspruch 8 gekennzeichnet dadurch, dass die Teilflächen (3) benachbarter Schichten (7) unterschiedliche Größe aufweisen.
13. Verfahren nach Anspruch 8, gekennzeichnet dadurch, dass jeder Schicht (7) ein eigenes Netz aus Teilflächen (3) zugeordnet ist.
- 15 14. Verfahren nach Anspruch 13, gekennzeichnet dadurch, dass das Netz aus Teilflächen (3) in ein Steuerungsprogramm eines Abtragsmittels (9) eingelesen wird.
- 20 15. Verfahren nach Anspruch 14, gekennzeichnet dadurch, dass das Steuerungsprogramm Bearbeitungsabschnitte (10) festlegt.
16. Verfahren nach Anspruch 15, gekennzeichnet dadurch, dass ein Bearbeitungsabschnitt (10) mindestens eine Teilfläche (3) umfasst.
- 25 17. Verfahren nach Anspruch 15, gekennzeichnet dadurch, dass der Bearbeitungsabschnitt (10) im Inneren eines Fokusquaders (11) des Abtragsmittels (12) liegt.
18. Verfahren nach Anspruch 15, gekennzeichnet dadurch, dass der
- 30 Bearbeitungsabschnitt (10) zeilenweise von dem Abtragsmittel (9) angefahren wird.
19. Verfahren nach Anspruch 18, gekennzeichnet dadurch, dass das Abtragsmittel (9) eingeschaltet wird, wenn ein Bildpunkt (4) in der im Bearbeitungsabschnitt (10) liegenden Schicht (7) zu liegen kommt.

20. Verfahren nach Anspruch 18, gekennzeichnet dadurch, dass die Abtragsmittel nicht eingeschaltet wird, wenn kein Bildpunkt (4) der Schicht (7) erkannt wird.

5. 21. Verfahren nach Ansprüchen 19 oder 20, gekennzeichnet dadurch, dass die Erkennung durch die dem Bildpunkt (4) zugeordnete Graustufe (5) erfolgt.

22. Verfahren nach Ansprüchen 1,2 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass für jede Teilfläche (3) eine unterschiedliche Winkelrichtung für das Abtragsmittel (9) vorgegeben wird.

10

23. Verfahren nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass das Abtragsmittel (9) schräg auf die Teilfläche auftrifft.

15

ZUSAMMENFASSUNG

- Ein Verfahren zur ein- oder mehrschichtigen Materialabtragung einer beliebig geformten dreidimensionalen Oberfläche 1 mittels eines punktförmig auf eine
- 5 Oberfläche wirkenden Abtragungsmittels 9, wie mittels eines Lasers, bei welchem eine Oberflächenstruktur 2 auf der dreidimensionalen Oberfläche 1 aufgebracht wird, kann derart durchgeführt werden, dass die Oberfläche 1 durch eine mathematische Funktion beschrieben wird, sodann durch ein Polygonnetz angenähert wird, wobei jedes Polygon des Polygonnetzes dem Bearbeitungsabschnitt 10 des Lasers zugeordnet ist.
- 10 Jedem der Polygone sind Rasterbilder zugeordnet, die mittels Graustufen die Tiefenwerte für die Oberflächenstruktur angeben. Die Polygone 3 werden zeilenweise durch das Abtragmittel 9 abgetragen. Bei stark voneinander abweichenden Tiefenwerten der Oberflächenstruktur wird der Abtrag in mehreren Schichten 7 von Polygonnetzen vorgenommen.

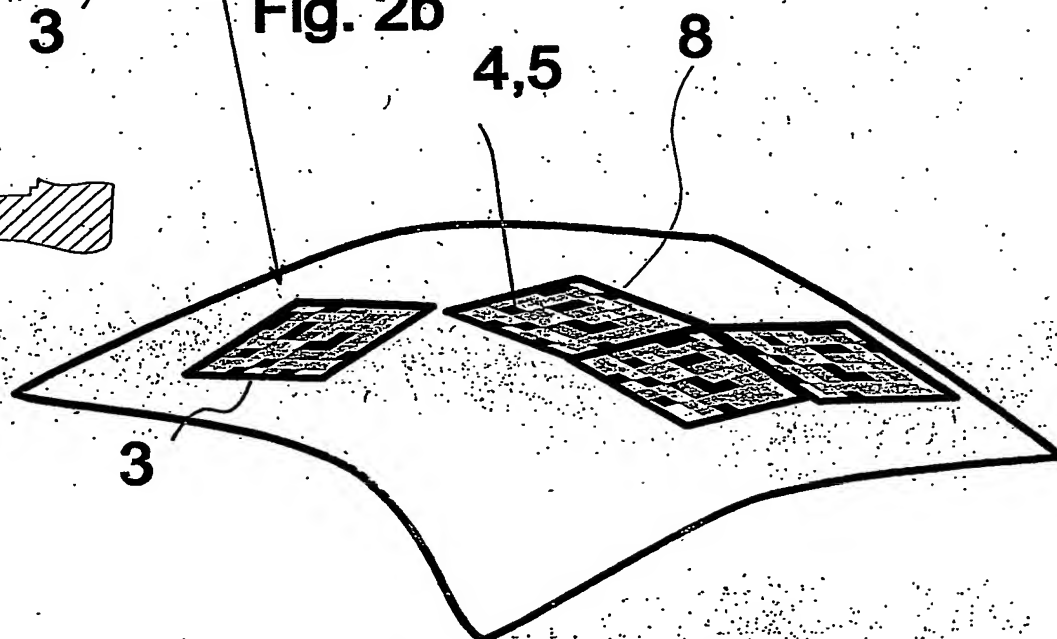
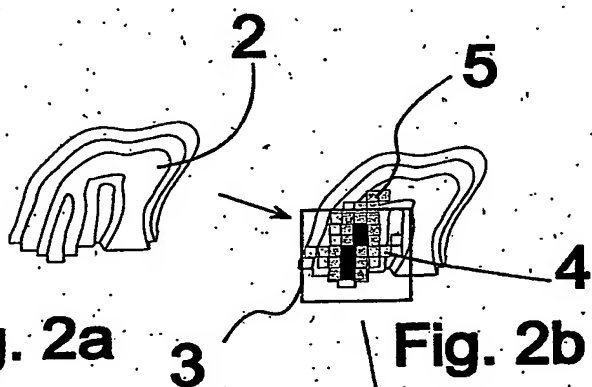
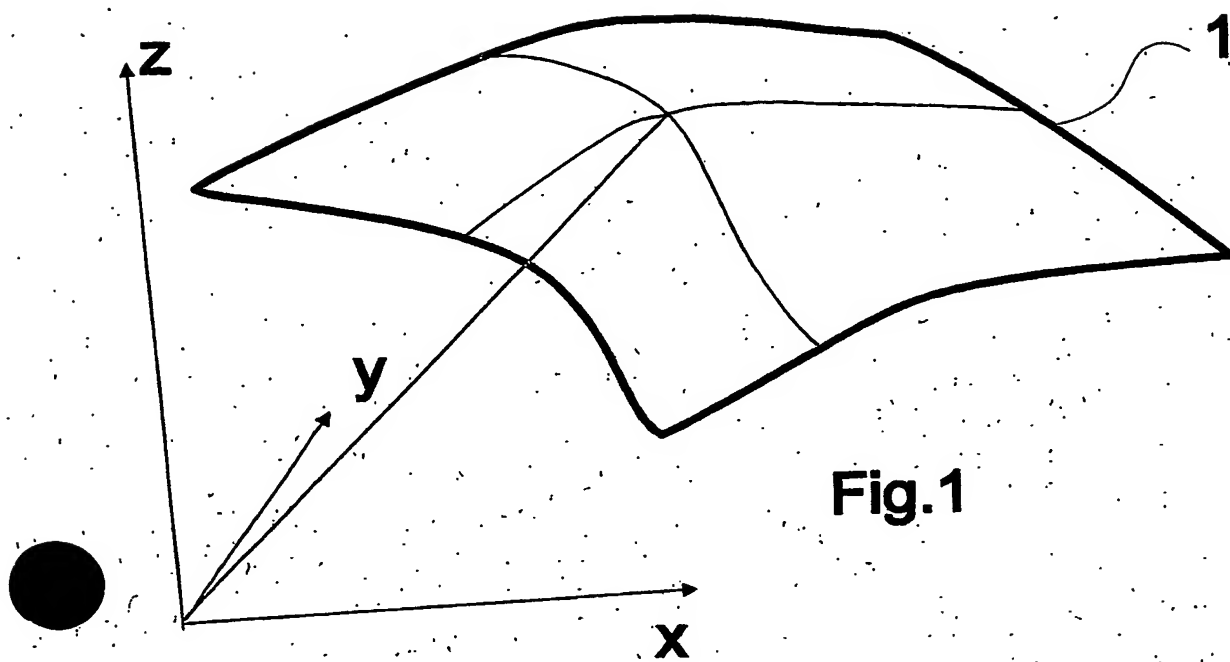


Fig. 2d

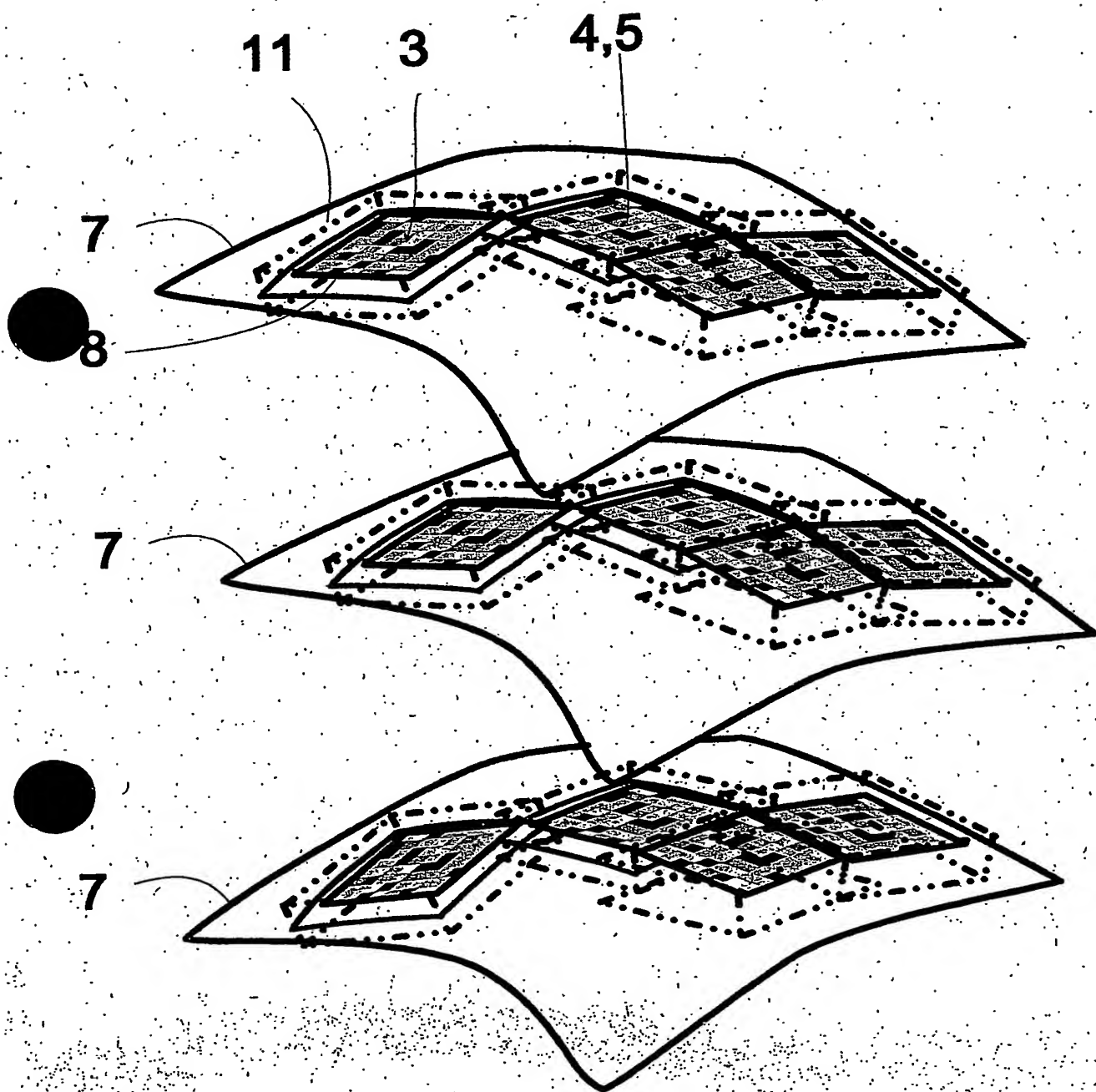


Fig. 3

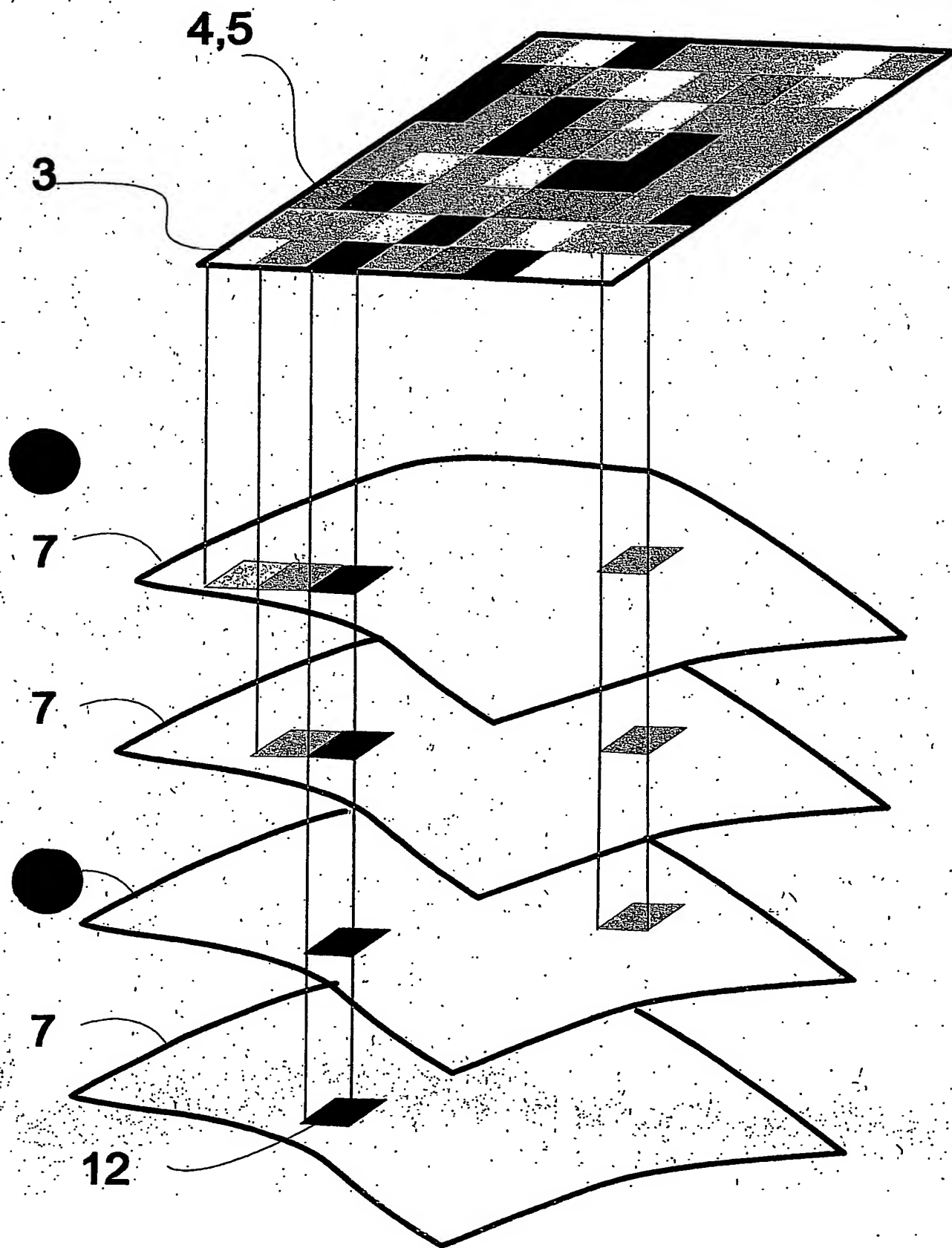


Fig. 4

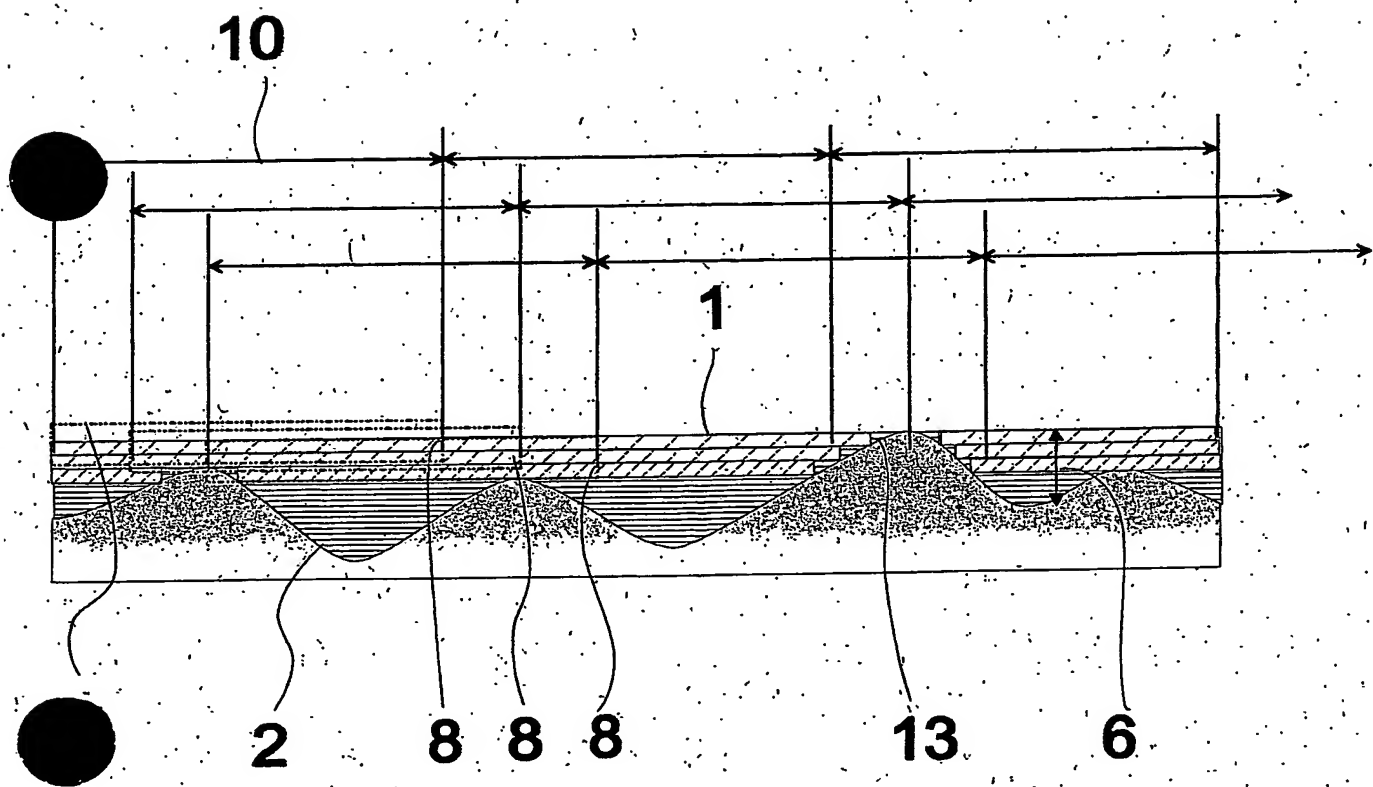


Fig. 5

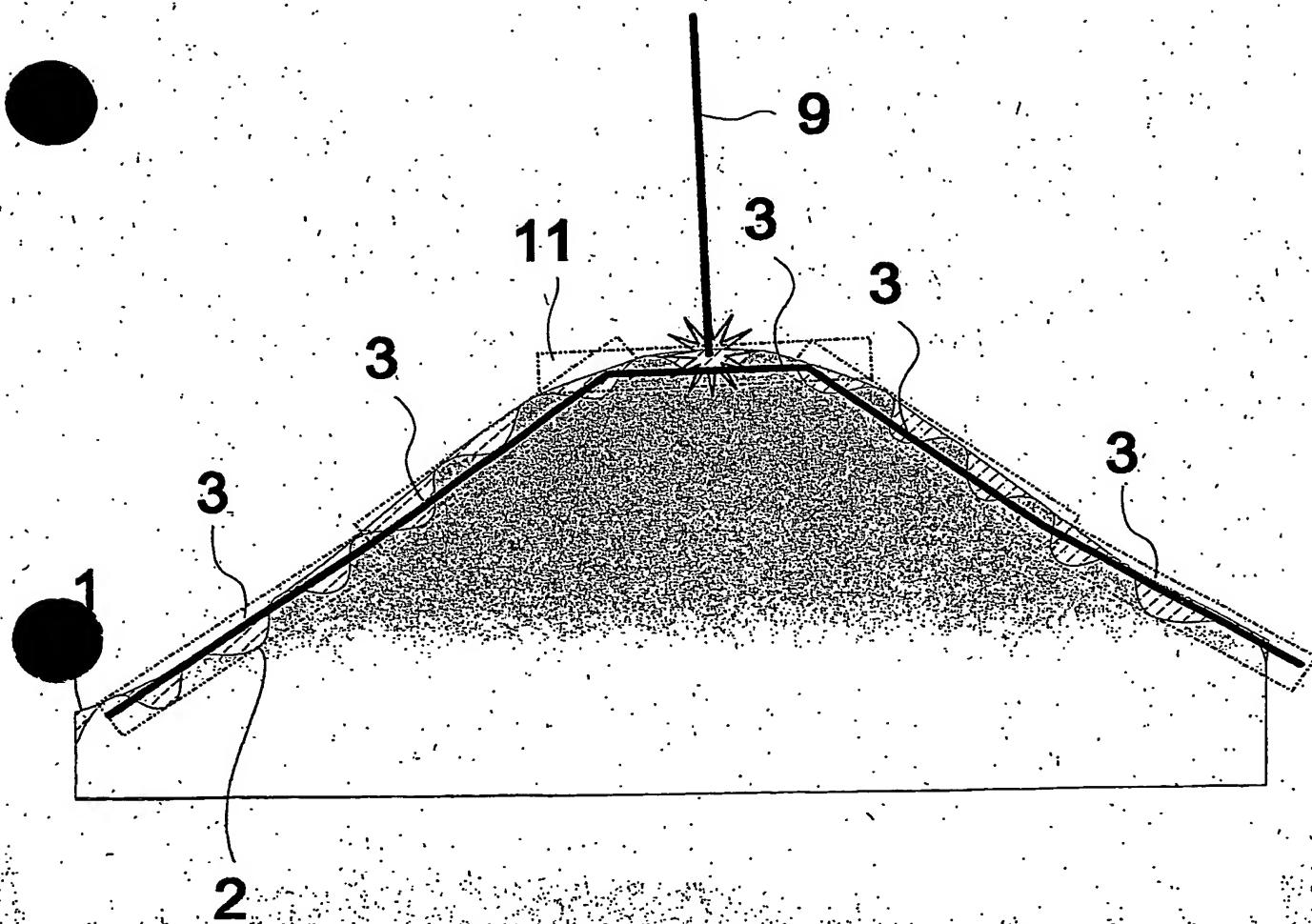


Fig. 6

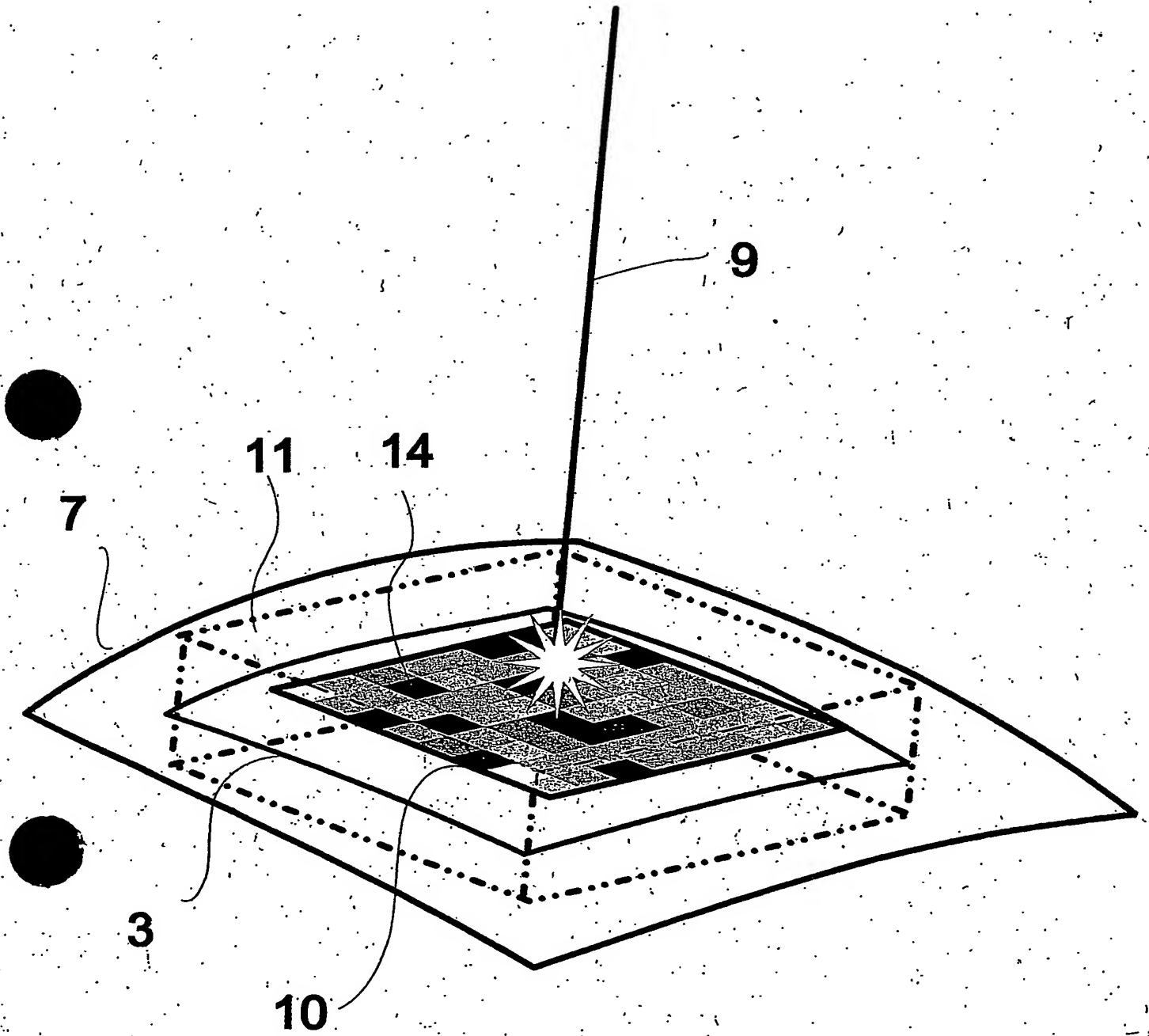


Fig. 7

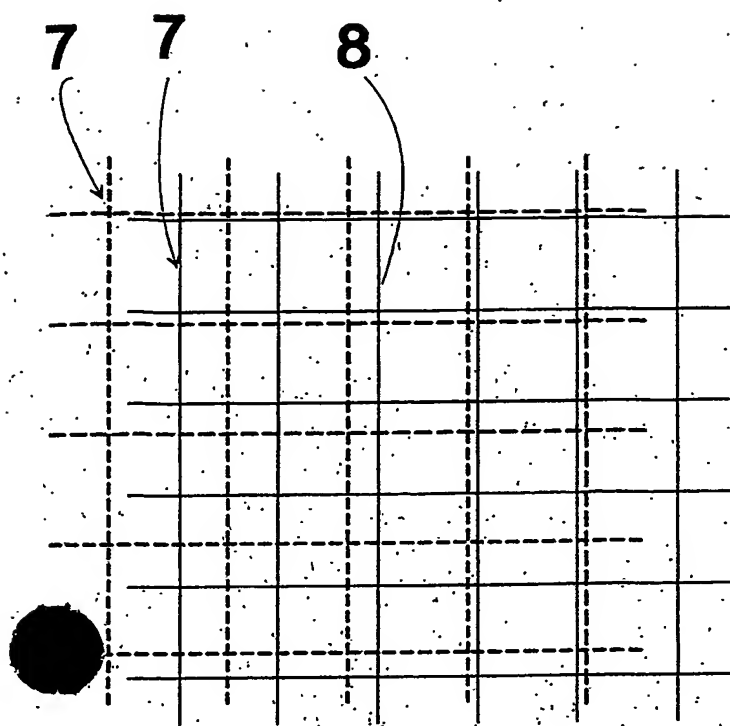


Fig. 8

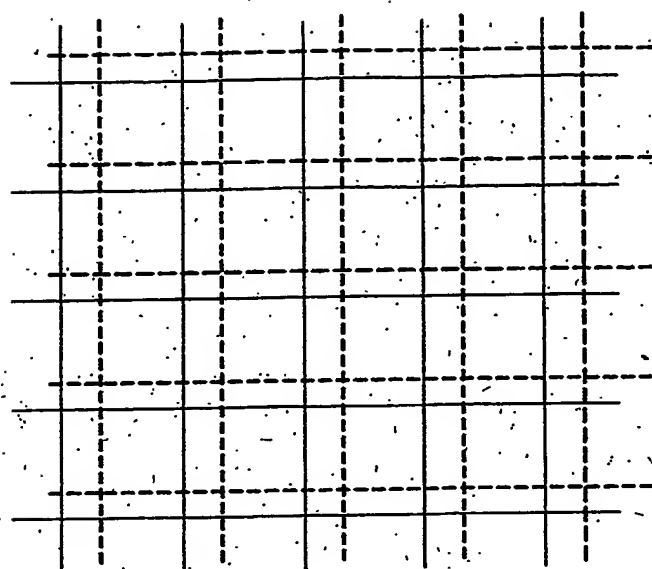


Fig. 9

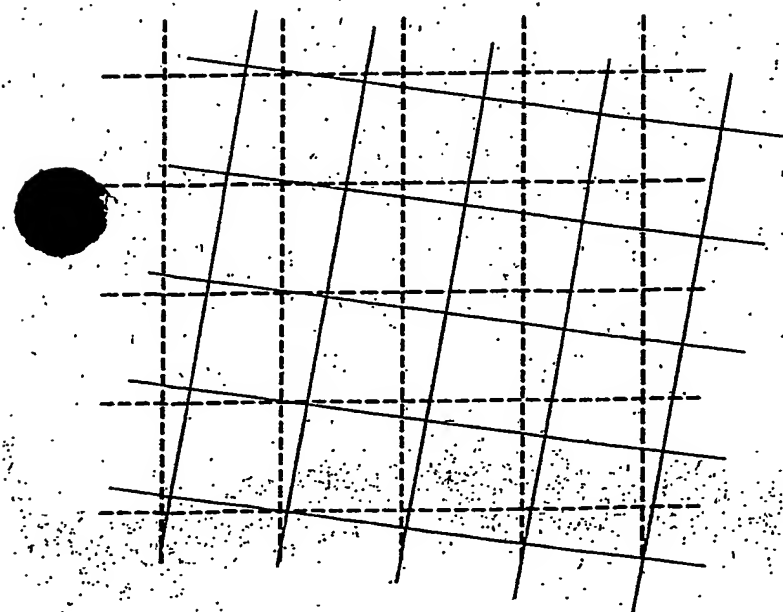


Fig. 10

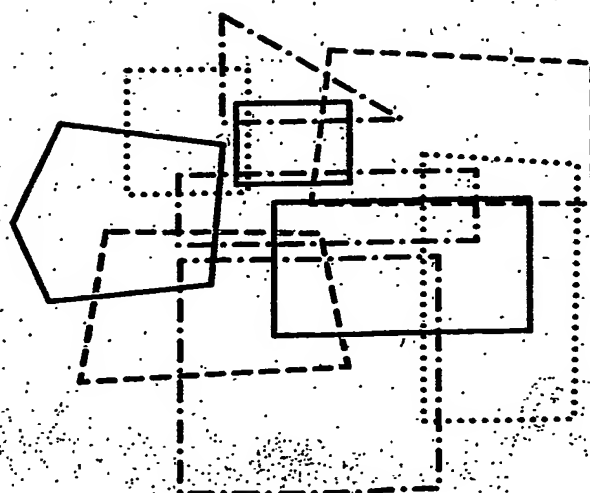


Fig. 11